

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Inovace technologie a stávajícího strojního zařízení pro opracování  
komponentů jaderných elektráren**

**ve VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s.**

**Technology and current mechanical equipment innovation for machining  
power station components**

**in VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s.**

Student:

Bc. Martin Konůpka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Konůpka**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 20 Strojírenská technologie

Téma: Inovace technologie a stávajícího strojního zařízení pro opracování komponentů jaderných elektráren ve VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s.  
Technology and Current Mechanical Equipment Innovation for Machining Power Station Components in VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s.

Zásady pro vypracování:

1. Popis výrobku, problematiky a technologií.
2. Návrh modernizace stávajících zařízení.
3. Výběr optimální varianty.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] AB SANDVIK COROMANT-SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění-Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 1997, 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [2] KÖNIG, W. *Fertigungsverfahren. Band 1-Drehen, Fräsen, Bohren*. 3. vyd., Düsseldorf: VDI-Verl. (Studium und Praxis), 1990, 409 s. ISBN 3-18-400834-6.
- [3] MÜLLER, P. Mit hoher Leistung tief in Stahl und Guss bohren. *Werkstatt und Betrieb*, 9/2003, s. 62-64. ISSN 0043-2792.
- [4] BIERMANN, D.; HEILMANN, M.; RANDECKER, H.; FEES, A. Ein Verfahren wird trockengelegt. *Werkstatt und Betrieb*, 10/2011, s. 68-71. ISSN 0043-2792.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Ivan Mrkvica**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 13. 5. 2013 .....

..... Martin Křípa .....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....13. 5. 2013.....

.....*Martin Konůpka*.....

Podpis studenta

Martin Konůpka

M. Chasáka 3146

738 01 Frýdek-Místek

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KONŮPKA, M. *Inovace technologie a stávajícího strojního zařízení pro opracování komponentů jaderných elektráren ve VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s.: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 56 s. Vedoucí práce: Mrkvica, I.

Diplomová práce se zabývá návrhem technologie výroby hlubokých otvorů v trubkovnicích, které jsou pro nízkotlaké nebo vysokotlaké ohříváky jaderných elektráren.

Úvodní část práce obsahuje její cíle, dále popis výrobního sortimentu, trubkovnic a pracovišť horizontálních vyvrtávacích strojů, kde by se měla uskutečnit výroba hlubokých otvorů. V následující kapitole je popsána technologie vrtání hlubokých otvorů, používané nástroje, vyskytující se vady, kontroly a měření včetně řešení oprav.

Praktická část práce se zabývá dovybavením stávajícího strojního zařízení pro danou technologii, výběrem a testováním nástrojů. V poslední kapitole je ekonomické vyhodnocení této technologie, pomocí které již bylo vyrobeno několik trubkovnic.

## ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KONŮPKA, M. *Technology and Current Mechanical Equipment Innovation for Machining Power Station Components in VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s.: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. Department of Working and Assembly, 2013, 56 p. Thesis head: Mrkvica, I.

The diploma thesis deals with concept of technology machining deep holes in tubesheets, that are used for low-pressure or high-pressure heaters of nuclear power stations.

The introduction contains objectives of this work, specifications of range of products, tubesheets and workplaces horizontal boring machines, where should be drilling deep holes. In the next chapter is dealed technology of drilling deep holes, tools in common use, incident defects, checks and measurements with solutions of repairs.

The practical part is dealing of concept complement current machine equipment for given technology, testing and choosing tools. In the last part of this work is economical evaluation of new technology, which them was made some tubesheets.

# OBSAH

<b>Seznam použitých symbolů a značek .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>Úvod – cíl diplomové práce .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>1 Firma VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. ....</b>	<b>- 11 -</b>
1.1 Základní údaje.....	- 11 -
1.2 Certifikace.....	- 12 -
1.3 Specifikace výroby pro jadernou energetiku .....	- 12 -
<b>2 Vyráběné komponenty a jejich díly.....</b>	<b>- 13 -</b>
2.1 Parogenerátor JE .....	- 13 -
2.2 Kompenzátor objemu JE.....	- 14 -
2.3 Nízkotlaký a vysokotlaký ohřívák JE .....	- 14 -
<b>3 Nejvýznamnější díly .....</b>	<b>- 16 -</b>
3.1 Trubkovnice .....	- 16 -
3.2 Materiály trubkovnic.....	- 18 -
3.3 Přepážka.....	- 19 -
<b>4 Současná pracoviště .....</b>	<b>- 20 -</b>
4.1 WET 200 NC .....	- 21 -
4.2 W 160 GNR .....	- 21 -
4.3 WRD 150 .....	- 22 -
4.4 W 200 HC .....	- 22 -
<b>5 Technologie výroby hlubokých otvorů.....</b>	<b>- 23 -</b>
5.1 Metody a nástroje.....	- 23 -
5.2 Vady při výrobě otvorů.....	- 28 -
5.3 Kontroly a měření .....	- 30 -
<b>6 Návrh modernizace stávajících zařízení .....</b>	<b>- 32 -</b>
6.1 Dovybavení strojního zařízení .....	- 32 -
6.2 Výběr vhodných nástrojů.....	- 34 -



6.3	Hospodářství procesních kapalin .....	- 41 -
6.4	Pracovní prostředí .....	- 45 -
6.5	Návrh investice do nového pracoviště .....	- 47 -
<b>7</b>	<b>Technicko-ekonomické vyhodnocení.....</b>	<b>- 48 -</b>
	<b>Závěr .....</b>	<b>- 52 -</b>
	<b>Poděkování .....</b>	<b>- 54 -</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>- 55 -</b>

## Seznam použitých symbolů a značek

<b>Značení</b>	<b>Význam</b>	<b>Jednotka</b>
A	Tažnost	[%]
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	[-]
ASME	Americká společnost strojních inženýrů	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
DIN	(Deutsche Industrie Normen) Německá norma	[-]
D	Průměr	[mm]
GOST	Ruská norma	[-]
HPM	(High pressure machining) Vysokotlaké obrábění	[-]
ISO	Mezinárodní normalizační organizace	[-]
IT	Stupeň přesnosti	[-]
JE	Jaderná energetika	[-]
N	Režijní náklady	[Kč]
N <sub>E</sub>	Cena výroby trubkovnice v extévní společnosti	[Kč]
N <sub>U</sub>	Celková úspora za rok	[Kč]
N <sub>UR</sub>	Úspora provozu dvou strojů při předpokládané roční výrobě	[Kč]
N <sub>US</sub>	Úspora za výrobu jedné trubkovnice	[Kč]
N <sub>V</sub>	Náklady na vybavení dvou pracovišť	[Kč]
NC	(Numerical control) číslicově řízený	[-]
NTO	Nízkotlaký ohřívák	[-]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	[MPa]





<b>Značení</b>	<b>Význam</b>	<b>Jednotka</b>
R <sub>p0,2</sub>	Mez kluzu 0,2 %	[%]
R <sub>a</sub>	Střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
RO	Rychlořezná ocel	[-]
SNOP	Stroj, nástroj, obrobek a přípravek	[-]
RO	Rychlořezná ocel	[-]
RS <sub>w</sub>	Režijní sazba horizontální vyvrtávačky	[Kč]
SK	Slinutý karbid	[-]
T <sub>v</sub>	Doba výroby	[NH]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
VPE	VÍTKOVICE POWER ENGINEERING	[-]
VTO	Vysokotlaký ohřívák	[-]
a. s.	Akciová společnost	[-]
f	Posuv na otáčku	[mm]
i	počet vyrobených kusů za rok	[-]
n	Otáčky	[min <sup>-1</sup> ]

## Úvod – cíl diplomové práce

Vzhledem k aktuální situaci, kdy poptávka po výrobě komponentů pro jaderné elektrárny stále stoupá, nejen z důvodu budování nových elektráren, ale taky z důvodu rekonstrukce vysloužilých částí starších elektráren, je potřeba stále rozšiřovat své technologické a výrobní možnosti.

Hlavním dílem energetických komponentů kompletovaných ve VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s. (dále jen VPE) je trubkovnice, u které je největší problematikou výroba značného množství hlubokých otvorů v požadované kvalitě. VPE doposud tyto díly nevyráběla a jejich dodávku zprostředkovávala pomocí subdodavatelů, případně od konkurenčních společností. Tento způsob se projevil časem jako hodně problematický z důvodů nedodržení termínů, neodpovídající kvality a v neposlední řadě taky cenou. Zmíněné negativní vlivy vždy ohrožily komplekci celého finálního komponentu a staly se hlavním podnětem k zadání této diplomové práce, která se v dalších kapitolách zabývá návrhem vlastní technologie s odpovídajícím dovybavením stávajícího strojního zařízení pro opracování trubkovic. Tímto by se společnost VPE měla zbavit souvisejících rizik.

Strojní vybavení je potřeba modernizovat pro rozšíření výrobních možností a schopnost efektivně vyrábět velké množství otvorů s průměrem 16,25 mm v obtížně obrobitelných ocelích o tloušťkách až 500 mm v předepsaných tolerancích. Tyto stroje musí být modernizovány tak, aby bez omezení mohly plnit své původní klasické frézovací, vyvrtávací a závitovací operace.

Neustálý vývoj a zdokonalování technologií jsou hlavním důvodem k podstoupení těchto kroků, které vedou k udržení firmy VPE v přední línii mezi dodavateli výrobků zejména pro energetický průmysl.



## 1 Firma VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s.

Jedná se o dceřinou společnost akciové společnosti VÍTKOVICE a.s., která patří k nejstarším hutnicko-strojírenským podnikům ve střední Evropě. VPE byla založena jako nástupnická společnost 1. 6. 2008 fúzí VÍTKOVICE EXPORT a.s., VÍTKOVICE HARD a.s., VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. a části VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.. Společnost je součástí strojírenské skupiny, která vystupuje pod značkou VÍTKOVICE MACHINERY GROUP. [1]

### 1.1 Základní údaje

VPE je historickým nositelem strategických engineeringových oborů, z nichž většina už pod značkou VÍTKOVICE překročila stoletou tradici.

Společnost VPE má výrobní program rozdělen do pěti hlavních oborů, které představují engineering pro energetiku, chemii a petrochemii, výrobu a dodávky ocelových konstrukcí, úpravy surovin a výrobu ekologického strojírenství. V poslední době výroba membránových stěn rozšířila dodávky pro energetiku. Membránové stěny jsou součástí energetických kotlů a jsou důležitým komponentem tohoto oboru. V následujícím **grafu č. 1.1** je znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých výrobních programů. [1]



Graf č. 1.1 Rozčlenění výroby VPE

## **1.2 Certifikace**

Společnost VPE vlastní následující certifikace [1]:

- Systém managementu jakosti – EN ISO 9001:2000
- Systém environmentálního managementu – EN ISO 14001:2004
- Systém managementu BOZP – ČSN OHSAS 18001:2008
- Plnění požadavků dle předpisů ASME CODE
- Výrobková osvědčení
- Oprávnění od institutu technické inspekce Praha (ITI)
- Oprávnění pro výrobu a dodávku výrobků pro území/zákazníka

## **1.3 Specifikace výroby pro jadernou energetiku**

Specifika jsou uvedeny v následujících bodech [2]:

- Závazná normativní dokumentace,
- Atestace personálu, zařízení, výrobků a technologií,
- Speciálně určené jakosti materiálů,
- Požadavky na pracovní prostředí (teplota, čistota),
- Důsledná identifikace všech materiálů,
- Důsledná dokumentace všech operací, činností a vlivů,
- Velký rozsah kontrol, zkoušek a přejímek,
- Nemožnost oprav nebo jejich důsledná evidence a schvalování,
- Náročnost plánování / větší vynucené prostoje,
- Dlouhý výrobní cyklus a vysoká pracnost.

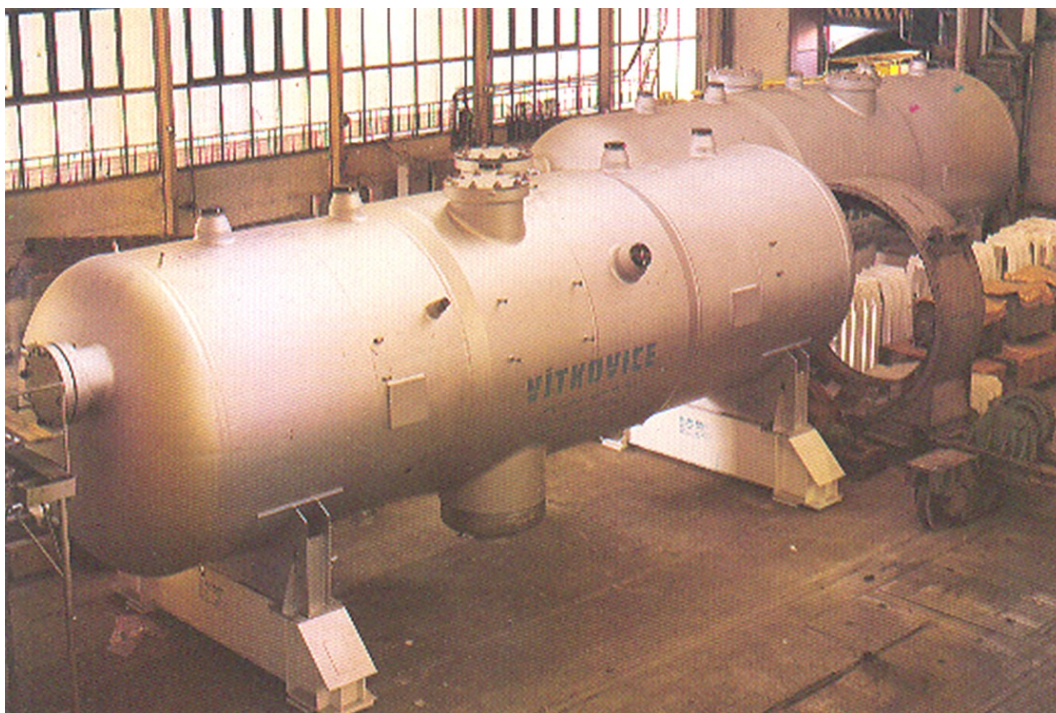
## 2 Vyráběné komponenty a jejich díly

Následující díly a komponenty běžně opracovávají na pracovištích VPE, kde se má zavést nová technologie se dají jednoduše rozdělit do dvou skupin, a to na díly a komponenty pro jadernou energetiku (za názvem je vždy uvedena zkratka JE) a výrobky pro běžnou energetiku.

### 2.1 Parogenerátor JE

Parogenerátor je komponent primárního i sekundárního okruhu jaderných elektráren, sloužící jako tepelný výměník k výrobě páry. U tepelných elektráren tuto funkci zastává spalovací kotel. Teplo z primárního okruhu ohřívá vodu sekundárního okruhu, kterou přivádí do varu a vzniklá pára je dále využita pro pohon turbíny.

Jeho přibližné rozměry jsou 4,5 m vnější průměr a 15 m délka, hmotnost je kolem 400 tun. Uvnitř parogenerátoru se nachází přibližně 60 000 m teplosměnných trubek, které jsou napojeny ve středové části do dvou kolektorů.



*Obr. 2.1 Parogenerátor JE [1]*

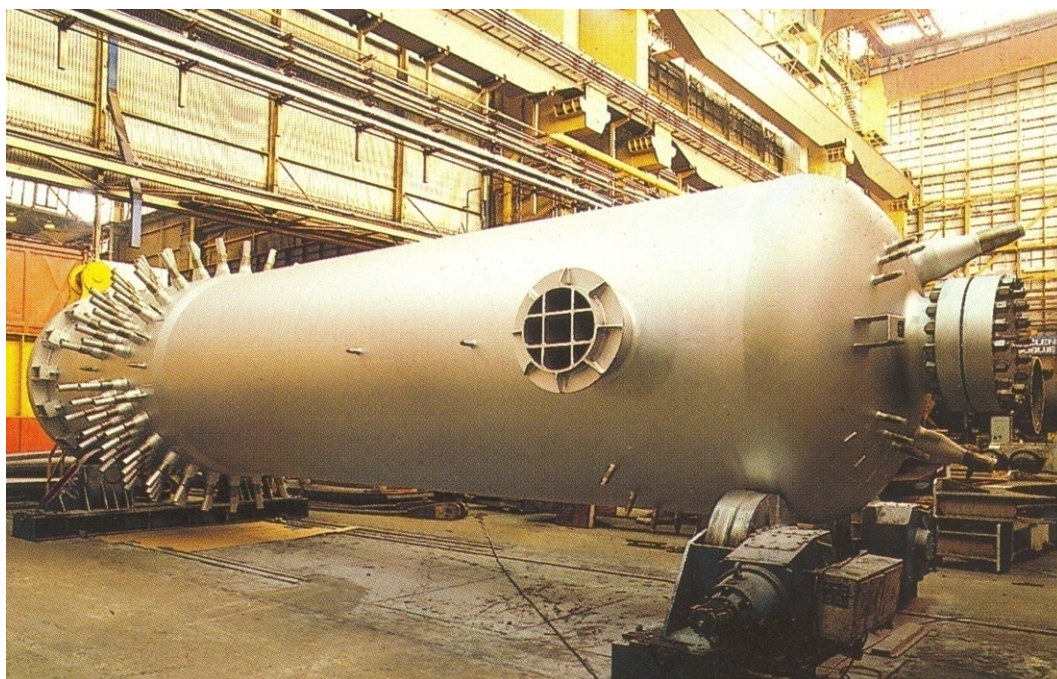
Hlavním vyráběným dílem tohoto komponentu je kolektor z materiálu 08CH18N10T, nebo s jeho návarem. Jedná se o duté těleso válcovitého tvaru, po jehož obvodě je vyrobeno velké množství otvorů pro teplosměnné trubky. Na **obr. 2.1** je parogenerátor.



## 2.2 Kompenzátor objemu JE

Tento komponent stabilizuje tlak v primárním okruhu, pomocí elektrických ohříváčů umístěných ve spodní části, nebo pomocí sprchovacího systému. Tímto se reguluje ohřev, nebo ochlazování páry.

Jeho vnější průměr je cca 3,5 m a výška má cca 15,5 m, jeho hmotnost je kolem 215 t. Na následujícím **obr. 2.2** je kompenzátor objemu.

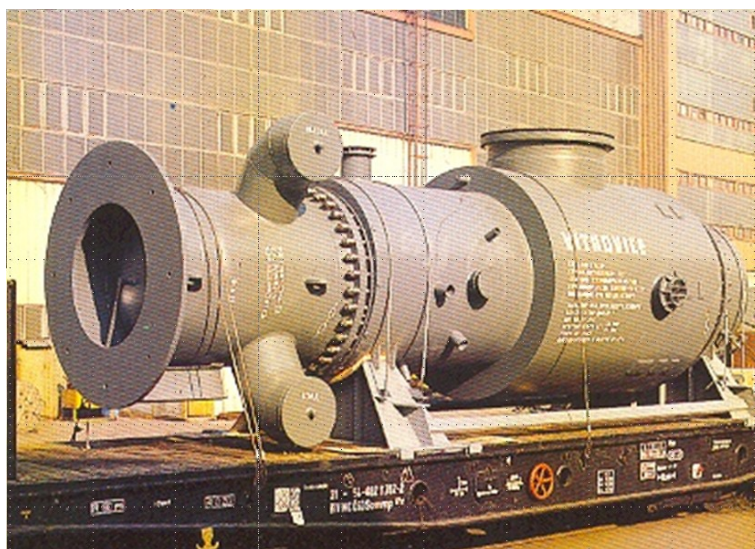


*Obr. 2.2 Kompenzátor objemu JE [1]*

## 2.3 Nízkotlaký a vysokotlaký ohřívák JE

Nízkotlaký ohřívák (dále jen NTO) je svislý tepelný výměník sekundárního okruhu, který slouží k ohřevu napájecí vody proudící z kondenzátoru turbíny do parogenerátoru. Zdrojem tepelné energie je pára z odběrů turbíny, která se vyskytuje v mezitrubkovém prostoru. Pomocí NTO se zkondenzovaná voda nahřeje z cca 30 °C na cca 165 °C. Uvnitř NTO se nachází velké množství teplosměnných trubek, které prochází horní a spodní trubkovnicí mezi nimiž jsou v pravidelných roztečích umístěny přepážky, sloužící k podepření trubkového svazku. **Obr. 2.3** vyobrazuje NTO.

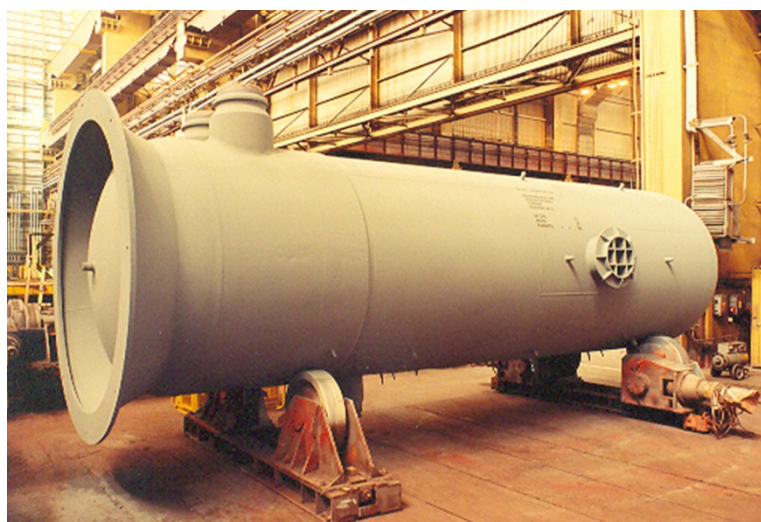
Rozměry NTO jsou cca 3,5 m vnější průměr a 10,5 m délka, hmotnost je kolem 50 t.



*Obr. 2.3 Nízkotlaký ohřívák JE [1]*

Vysokotlaký ohřívák (dále jen VTO) je obdobně jako NTO svislý tepelný výměník, který slouží k dalšímu ohřevu napájecí vody na její cestě do parogenerátoru v sekundárním okruhu. Pracuje na shodném principu jako NTO, ale díky vysokotlakému ohřevu se dosahuje na jeho výstupu teploty až cca 220 °C. Uvnitř VTO se nachází jedna trubkovnice tloušťky až 500 mm a trubkový svazek s trubkami tvaru U podpíraný pomocí přepážek.

VTO má cca 3,5 m vnější průměr a 12 m délku a je znázorněn na **obr. 2.4**.



*Obr. 2.4 Vysokotlaký ohřívák JE [1]*

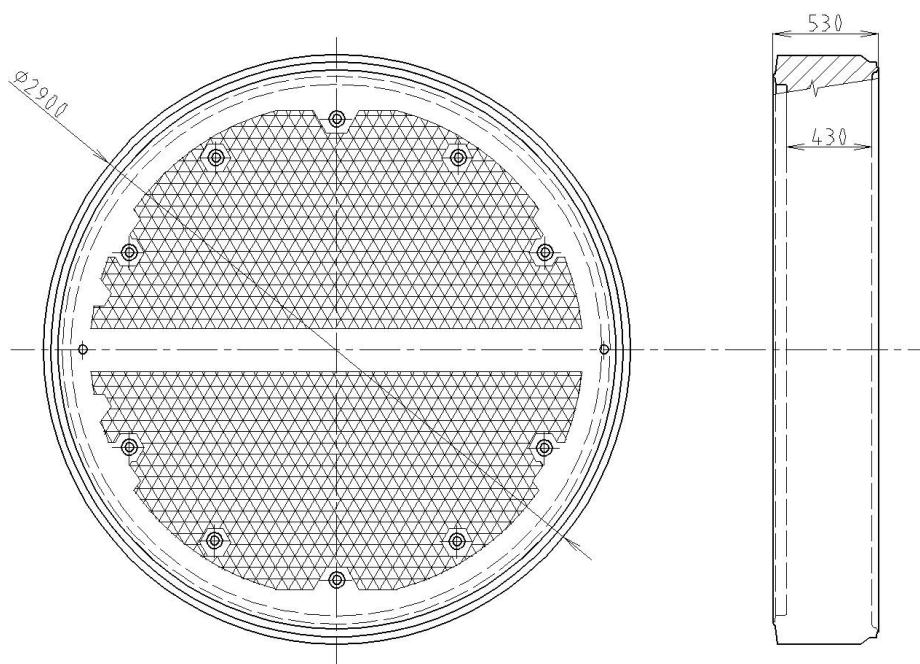
Pro oba typy těchto ohříváků NTO i VTO jsou nejvýznamnějšími díly trubkovnice, mezi další vyráběné díly se řadí přepážky k podepření trubkového svazku, nátrubky atd.

### 3 Nejvýznamnější díly

Tato kapitola popisuje hlavní díl teplosměnných komponentů pro JE. Jedná se o trubkovnici, která je taky předmětem řešené technologie v této práci. S trubkovnicí jsou úzce spjaty přepážky, které jsou popsány v podkapitole č. 3.3.

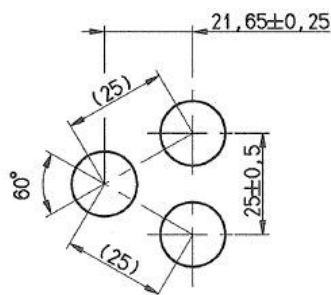
#### 3.1 Trubkovnice

Jedná se o díl kruhovitého průřezu o různých průměrech, tloušťkách a druzích materiálů, podle požadavků finálního komponentu. Do této trubkovnice se při montáži vkládá a následně upevňuje velké množství teplosměnných trubek. Pro tyto trubky je nutné v trubkovnici vyrobít velký počet hlubokých otvorů, které musí splňovat rozměrové tolerance a kvalitu povrchu podle požadavků výkresové dokumentace, směrnic a norem. Na následujícím **obr. 3.1** je schematicky zobrazená trubkovnice, kde je křížovým šrafováním vyznačena oblast sítě vyráběných otvorů. Tyto trubkovnice mívají až 10 628 otvorů s průměry 16,25 mm s předepsanou tolerancí + 0,17 mm a drsností Ra 3,2  $\mu\text{m}$ . Bývají nejčastěji rozloženy tak, jak je znázorněno na **obr. 3.2**. Na **obr. 3.3** je odvrtná trubkovnice.



**Obr. 3.1** Trubkovnice pro vysokotlaký ohřívák





**Obr. 3.2** Rozložení sítě otvorů v trubkovnicích



**Obr. 3.3** Trubkovnice pro vysokotlaký ohřívák

Vyrábí se mnoho typů trubkovnic, nejčastěji pro NTO a VTO, podle toho budou následovně popsány jejich parametry.

Trubkovnice určené pro jeden typ NTO jsou zpravidla dvě, horní a spodní, jejich tloušťky se pohybují od 100 mm do 350 mm a vnější průměry od cca 1800 mm do cca 3400 mm. Spodní trubkovnice má vždy větší tloušťku i vnější průměr, než horní trubkovnice. Počet vyráběných hlubokých otvorů pro teplosměnné trubky je v obou trubkovnicích určených pro jeden daný typ NTO stejný a pohybuje se od cca 4000 až do 10 628.

Pro každý typ VTO se vyrábí pouze jedna trubkovnice, která má maximální venkovní průměr cca 3500 mm, avšak její tloušťka bývá větší než u trubkovnic pro NTO a dosahuje až 530 mm.

### 3.2 Materiály trubkovnic

Všechny zmiňované trubkovnice jsou vyráběny z oceli s označením 22K , nebo 08CHN10T (podle GOST). Jen u některých trubkovnic pro VTO, se vyskytuje provedení, kde je základním materiálem ocel 22K a čelní strana je opatřena austenitickým návarem z oceli 08CH18N10T.

Tyto speciální ruské oceli vyráběné pro díly JE se vyznačují odolností proti radiačnímu poškození, značnou lomovou houževnatostí a dobrou svařitelností. Jejich specifické vlastnosti, ani postup výroby nejsou uveřejňovány. Polotovary se do VPE dováží ve formě neobrobených výkovků a není dovoleno koncovým zákazníkem použití jakýkoliv materiálových ekvivalentů pro výrobu tlakových dílů JE. V **tab. 3.1** a **3.2** je uvedeno chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 22K.

**Tab. 3.1** Chemické složení 22K [3]

Obsah prvků v %					
C	Mn	Si	P	S	Cu
0,19 - 0,26	0,7 - 1,00	0,20 - 0,40	<0,025	<0,025	<0,30
Cr	Ni	Mo	V	Ti	N
<0,40	<0,50	0,10 - 0,15	0,02 – 0,05	<0,05	<0,012

**Tab. 3.2** Mechanické vlastnosti 22K [3]

t = 20 °C			t = 250 °C	
R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>P0,2</sub> [MPa]	A [%]	R <sub>P0,2</sub> [MPa]	A [%]
>431	>216	>21	>195	>18

Nerezová, žárupevná austenitická ocel s označením 08CH18N10T obsahuje jemný precipitát Ti (CN). Manipulace s výrobky z tohoto těžkoobrobitelného materiálu podléhá kritériu práce s korozivzdornými ocelmi. V **tab. 3.3** a **3.4** na další straně je uvedeno chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 08CH18N10T.

Tab. 3.3 Chemické složení 08CH18N10T [3]

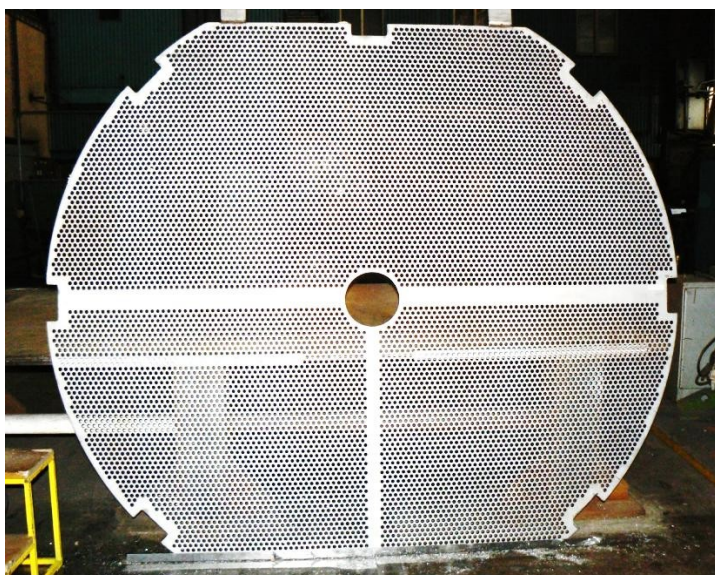
Obsah prvků v %							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
<0,08	<2,00	<0,8	<0,035	<0,020	17 - 19	9 - 11	<0,6

Tab. 3.4 Mechanické vlastnosti 08CH18N10T [3]

t = 20 °C			t = 250 °C
R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	A [%]	R <sub>p0,2</sub> [MPa]
>490	>195	>35	>195

### 3.3 Přepážka

Dalším dílem především pro NTO a VTO jsou přepážky, které slouží k podepření trubkového svazku. Obvykle jich bývá potřeba 7 kusů pro jeden ohřívač. Jedná se o přepážku kruhového tvaru o průměru cca 2500 mm, tloušťky 16 mm, z nerezové oceli 08CH18N10T, ve které bývá zhotoveno až 10 628 otvorů s průměrem 16,3 mm a tolerancí + 0,3 mm. Modernizace technologie výroby tohoto množství krátkých otvorů v přepážkách bylo předmětem mé předchozí bakalářské práce a nyní řešená technologie pro výrobu hlubokých otvorů v trubkovnicích částečně vychází ze zkušeností a principů již ověřených v praxi obsažených v této zmiňované bakalářské práci. Přepážka je znázorněna na následujícím **obr. 3.8**.



Obr. 3.8 Přepážka pro přehříváky NTO



## 4 Současná pracoviště

Opracování zmiňovaných dílů a celkových komponentů má probíhat na současných pracovištích VPE. Jedná se o čtveřici pracovišť horizontálních vyvrtávaček, které jsou vhodné pro obrábění těžkých a velkých výrobků. Využívají se pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitovací operace. Na následujícím **obr. 4.1** je vodorovná vyvrtávačka W 160 GNR ze skupiny čtyř řešených pracovišť.



**Obr. 4.1** Horizontální vyvrtávačka W 160 GNR

Tato rozměrná pracoviště mají být využívána zejména pro výrobu velkého množství hlubokých otvorů v trubkovnicích, přičemž nemá být znemožněno, aby byla schopna dále vykonávat původní obráběcí operace. Zmiňované vodorovné vyvrtávačky, by měly být dovybaveny zvláštním příslušenstvím podle navržené technologie pro výrobu hlubokých otvorů, což je předmětem kapitoly č. 5. V následujících **tab. 4.1 – 4.4** jsou uvedeny hlavní údaje jednotlivých pracovišť.

## 4.1 WET 200 NC

Tab. 4.1 Parametry WET 200 NC [4]

Průměr vřetene	200 mm
Upínací kužel	ISO 50
Rozměr pinoly	520 x 520 mm
Max. krouticí moment na vřetenu	15 000 Nm
Výsuv vřetena	2 000 mm
Výsuv pinoly	1 600 mm
Pojezd vřeteníku	5 150 mm
Pojezd stojanu	19 500 mm
Upínací deska (délka x šířka)	16 000 x 5 600 mm
Otočný stůl (délka x šířka), nosnost	4 000 x 3 500 mm, 60 t
Plynulý rozsah otáček	1,6 – 630 min <sup>-1</sup>
Plynulý rozsah posuvových rychlostí	0,5 – 2 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteno, pinola	6 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteník, stojan	10 000 mm.min <sup>-1</sup>

## 4.2 W 160 GNR

Tab. 4.2 Parametry W 160 GNR [5]

Průměr vřetene	160 mm
Upínací kužel	ISO 50
Rozměr pinoly	450 x 450 mm
Max. krouticí moment na vřetenu	24 500 Nm
Výsuv vřetena	1 600 mm
Výsuv pinoly	1 250 mm
Pojezd vřeteníku	2 500 mm
Pojezd stojanu	3 000 mm
Otočný stůl (délka x šířka), nosnost	3 200 x 3 200 mm, 40 t
Plynulý rozsah otáček	2 – 800 min <sup>-1</sup>
Plynulý rozsah posuvových rychlostí	0,5 – 100 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteno, pinola	6 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteník, stojan	10 000 mm.min <sup>-1</sup>

### 4.3 WRD 150

Tab. 4.3 Parametry WRD 150 [6]

Průměr vřetene	150 mm
Upínací kužel	ISO 50
Rozměr pinoly	450 x 450 mm
Jmenovitý krouticí moment na vřetenu	2 290 Nm
Výsuv vřetena	1 000 mm
Výsuv pinoly	800 mm
Pojezd vřeteníku	4 000 mm
Pojezd stojanu	15 000 mm
Upínací deska (délka x šířka)	12 000 x 5 600 mm
Otočný stůl (délka x šířka), nosnost	3 200 x 2 800 mm, 30 t
Plynulý rozsah otáček	10 – 2 500 min <sup>-1</sup>
Plynulý rozsah posuvových rychlostí	1 – 8 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteno, pinola	16 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteník, stojan	20 000 mm.min <sup>-1</sup>

### 4.4 W 200 HC

Tab. 4.4 Parametry W 200 HC [7]

Průměr vřetene	200 mm
Upínací kužel	ISO 60
Rozměr pinoly	520 x 520 mm
Max. krouticí moment na vřetenu	8 800 Nm
Výsuv vřetena	2 000 mm
Výsuv pinoly	1 600 mm
Pojezd vřeteníku	5 000 mm
Pojezd stojanu	13 500 mm
Upínací deska (délka x šířka)	9 400 x 24 000 mm
Otočný stůl (délka x šířka), nosnost	4 000 x 3 500 mm, 60 t
Plynulý rozsah otáček	0,3 – 800 min <sup>-1</sup>
Plynulý rozsah posuvových rychlostí	0,75 – 3 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteno, pinola	3 000 mm.min <sup>-1</sup>
Rychlý chod vřeteník, stojan	6 000 mm.min <sup>-1</sup>

## 5 Technologie výroby hlubokých otvorů

Termínem hluboký otvor se rozumí otvor s délkou, která se pohybuje od pětinasobku průměru vyráběného otvoru a více. Vrtání hlubokých otvorů se vyznačuje velkým objemem odřezávaného materiálu a zároveň požadavkem vysoké přesnosti na přímost a rozměrovou stálost vyráběného otvoru. Další významný požadavek je na odpovídající jakost obrobené plochy. U krátkých děr je většinou důležitější hospodárnost výroby.

U hlubokých otvorů je obzvlášť důležité utváření třísky a její kontrolované odvádění z místa řezu. Materiál obrobku, geometrie řezné hrany nástroje, řezná a posuvová rychlost, tlak a druh procesní kapaliny jsou základní faktory, které toto výrazně ovlivňují. Do určité míry se dá předpokládat, že při vyšší posuvové rychlosti, nebo při nižší řezné rychlosti budou vznikat krátké třísky. Délka třísky se považuje za vyhovující, když může být odvedena bez problémů od břitu směrem ven. [8]

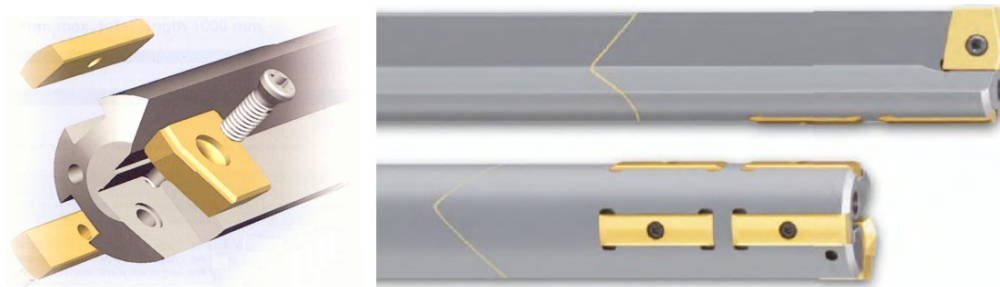
### 5.1 Metody a nástroje

Nástroje používané pro hluboké vrtání, jsou často vystavovány v průběhu vrtání extrémním podmínkám, a proto jsou na ně kladeny vysoké požadavky především na spolehlivost. Obrábí se především drahé výrobky, kde vytvoření zmetku může mít velmi negativní ekonomický dopad pro daný výrobní podnik.

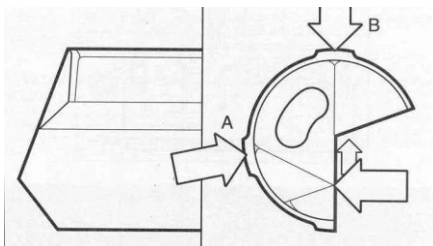
#### Dělové (hlavňové) vrtáky

Jedná se o vysokovýkonné vrtací nástroje, které se obvykle používají pro hloubky vyráběných otvorů od  $10 \times D$  až po hloubky několika metrů. Používané průměry jsou 0,5 až 80 mm. Velmi často bývají taky označovány jako „nevyvážené nástroje“, protože ve většině případů se jedná o jednobřitý nástroj, z čehož plynou důvody vzniku radiálních sil při obrábění. Kvůli tomu jsou opatřeny opěrnými a vodícími lištami, které tyto síly zachycují. Další typická a velmi důležitá vlastnost je jejich asymetrická geometrie, kde špička vrtáku je vůči jeho ose přesazená. Důvodem je zvýšení efektivity řezání v místě blížícímu se ke středu vrtáku, kde se u běžných nástrojů řezná rychlost blíží nule. [8][9]

**Obr. 5.1** na další straně znázorňuje jednobřité dělové vrtáky s VBD vyráběné firmou Hartner.



**Obr. 5.1** Dělové vrtáky od firmy Hartner [15]



**Obr. 5.2** Schéma působení sil u dělového vrtáku [8]

Na **obr. 5.2** je schéma řezné části jednobřitého dělového vrtáku s naznačenými působícími silami v průběhu obrábění.

Tyto dělové vrtáky se skládají z tyče potřebné délky, na niž je připájená řezná část vyrobená z RO nebo SK. V poslední době je tato řezná část tvořena lůžky pro VBD a vodící lišty. Při obrábění se dosahuje tolerančního pole rozměru průměru otvoru IT8 a drsnosti  $Ra\ 0,8\ \mu m$ . Záleží však na průměru vyráběného otvoru.

U hlubokého vrtání je zásadní dobré vedení řezného nástroje, především na začátku vrtání každého otvoru. Zajišťuje se to pomocí vrtacích pouzder, nebo předvrtané vodící (pilotní) díry. Toto vedení dělového vrtáku musí být v procesu spolehlivé až do okamžiku, kdy se vodící lišty vrtáku dostatečně opřou o stěny vrtané díry a nástroj se díky tomu dál vede sám. Pilotní otvory mívají větší průměr, než dělový vrták, a to o 0,01 až 0,03 mm a zhotovují se v hloubkách  $D$  až  $2 \times D$ . [8] [9]

Většina nástrojů pro výrobu hlubokých otvorů nedisponuje šroubovicí, sloužící k odvodu třísek z místa řezu a dále z vyráběného otvoru ven. Tento úkol zde zastává procesní kapalina s požadavkem na odpovídající tlak, který roste se zmenšujícím se průměrem vyráběného otvoru. Procesní kapalina je pod vysokým tlakem přiváděna otvorem v tělese vrtáku až k břitě. Pro hluboké vrtání je využíváno jako procesní medium speciální olej, emulze nebo stlačený vzduch s olejovou mlhou. [9]



### Spirálové dělové vrtáky

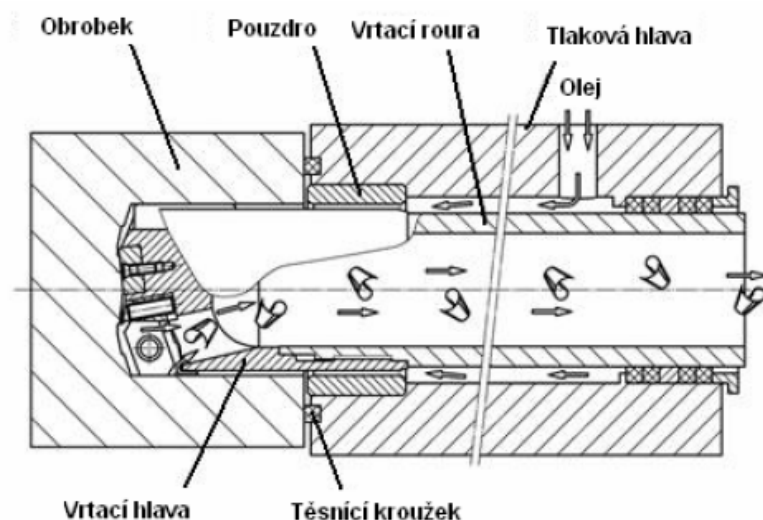
Jedná se o specifický případ monolitních vrtáků vyrobených ze slinutého karbidu, které vyvinula firma Guhring. Konce těchto nástrojů jsou povlakované TiAlN. Stavbou se tyto vrtáky shodují se šroubovitými vrtáky s vnitřním chlazením, ale jsou podstatně delší a drážky pro odvod třísek mají speciální tvar. Obrábění s těmito nástroji využívá vyšší posuvové a řezné rychlosti. Vyrábí se v délkách od  $20 \times D$  až  $40 \times D$  a jsou na **obr. 5.3.** [10]



**Obr. 5.3** Spirálové dělové vrtáky [10]

### Vrtací hlavy BTA (STS)

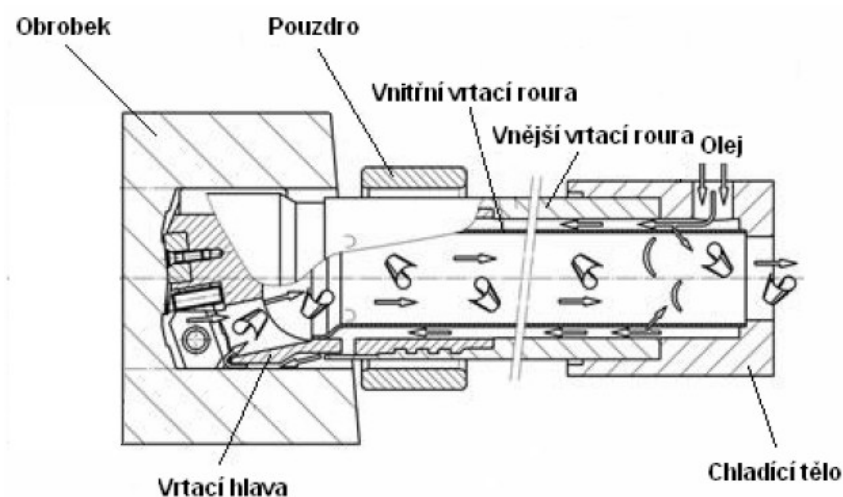
Je to výkonný systém určený pro větší průměry otvorů a pro hloubky až  $100 \times D$ . Procesní kapalinu přivádí tlaková hlava do prostoru mezi vrtací trubkou a vrtací pouzdro, tato kapalina se tak dostává až k vrtací hlavě, odkud se spolu s vzniklými třískami odvádí přes vnitřní trubku zpátky k filtračnímu systému a zásobovací nádobě s touto kapalinou. Tento systém vrtání bývá také označován zkratkou STS a jeho princip je znázorněn na **obr. 5.4.** [10]



**Obr. 5.4** Princip systému BTA [10]

Ejektorové vrtací hlavy

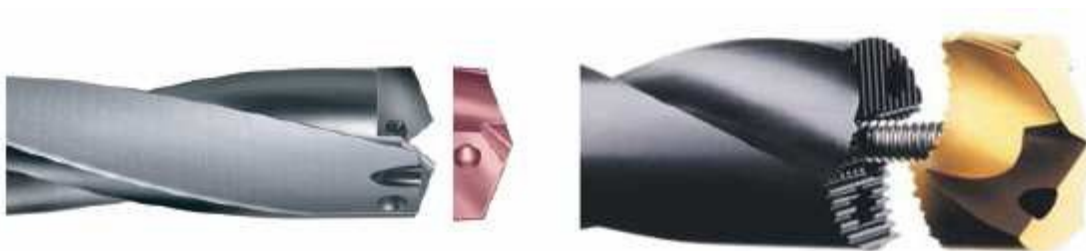
Systém vrtání pomocí ejektorových hlav vychází z principu systému BTA (STS), někdy taky nazývaný jako tzv. „dvoutrubkový systém“. Používá se pro průměry od 18 do 200 mm a pro hloubky až 100 x D. Procesní kapalina se žene pod tlakem do prostoru mezi vnější a vnitřní trubku až k vrtací hlavě. Zpátky se vrací vnitřní trubkou obdobně jak u BTA (STS) systému. Vrtací hlava je našroubovaná na vrtací tyč. Vrtání může probíhat, jak na konvenčních obráběcích strojích, tak na CNC obráběcích centrech a soustruzích. Princip metody je na **obr. 5.5**. [10]



*Obr. 5.5 Princip ejektorového systému [10]*

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

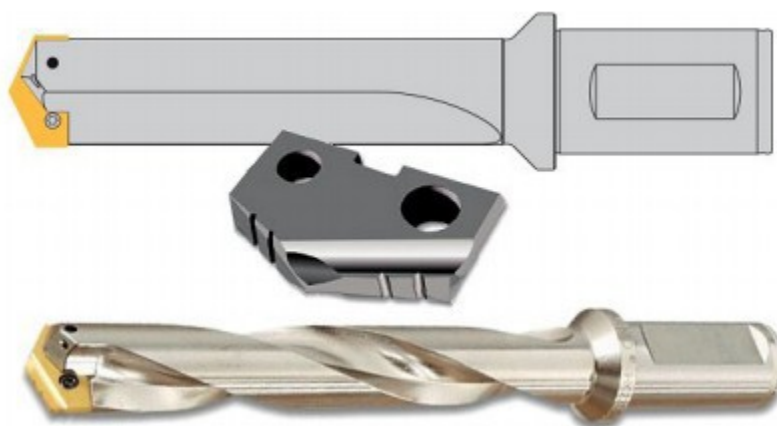
Patří zde vrtáky s vyměnitelnou špičkou, která může být buď jako VBD, nebo celá hlavice, jak je vidět na **obr. 5.6**. VBD a hlavice jsou vyráběny nejčastěji z povlakovaných SK. Geometrie těchto hlavic bývá různá podle vlastností obráběného materiálu. [10]



*Obr. 5.6 VBD a vyměnitelná hlavice [10]*

Kopínaté vrtáky

Jedná se o nástroje s dvěma břity a příčným ostřím. Vyznačují se velkou tuhostí a umožňují vrtat do plného materiálu bez navrtávání. Průměry vyráběných otvorů jsou 10 – 128 mm. Ve většině případů využívají vnitřní přívod procesní kapaliny a jsou tvořeny tělesem, do něhož se upínají VBD. Používané VBD se vyrábí z RO nebo SK. Ostří VBD tvořené dvěma břity svírá úhel 90 – 130° podle vlastností obráběného materiálu. Většinou se pro tvrdší materiály používá větší úhel špičky vrtáku. Na **obr. 5.7** jsou kopínaté vrtáky. [11]



**Obr. 5.7** Kopínaté vrtáky [11]

V dnešní době již vyráběné i v délkách pro hluboké vrtání až 12 x D. **Obr. 5.8** znázorňuje kopínatý vrták určený pro hloubku vrtání 10 x D.



**Obr. 5.8** Kopínatý vrták pro hloubku vrtání 10 x D

## 5.2 Vady při výrobě otvorů

Vadou se rozumí každý nedodržení kvalitativní požadavek vyplývající z technické dokumentace výrobku. Vyráběné otvory v trubkovnicích i přepážkách musí zejména splňovat rozměrové tolerance a kvalitu povrchu.

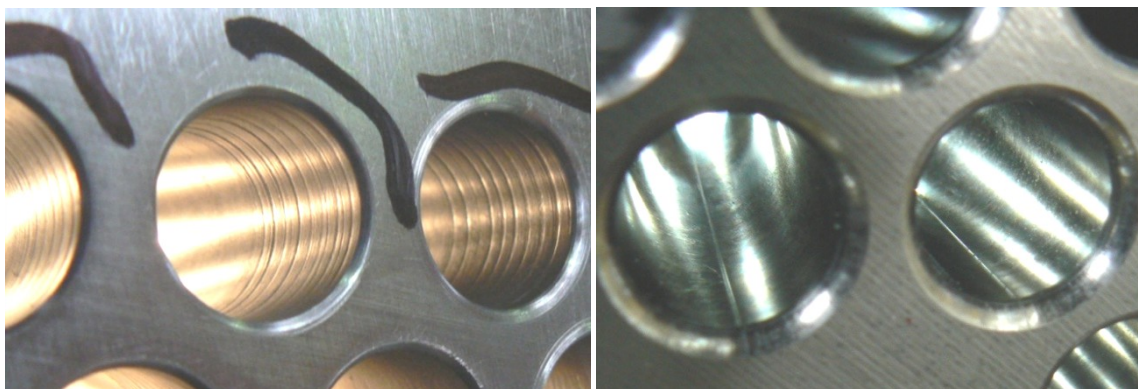
### Vady vyskytující se při výrobě trubkovnic v extérních společnostech:

- Překročení rozměru průměru otvorů až o 1 mm
- Průběžné nebo částečné axiální (sahající až k okraji otvoru), radiální a spirálové rýhy
- Nedodržení roztečí otvorů o  $\pm 3$  mm
- Nedodržení kolmosti až o 2,25 mm
- Špatné zahloubení a koroze

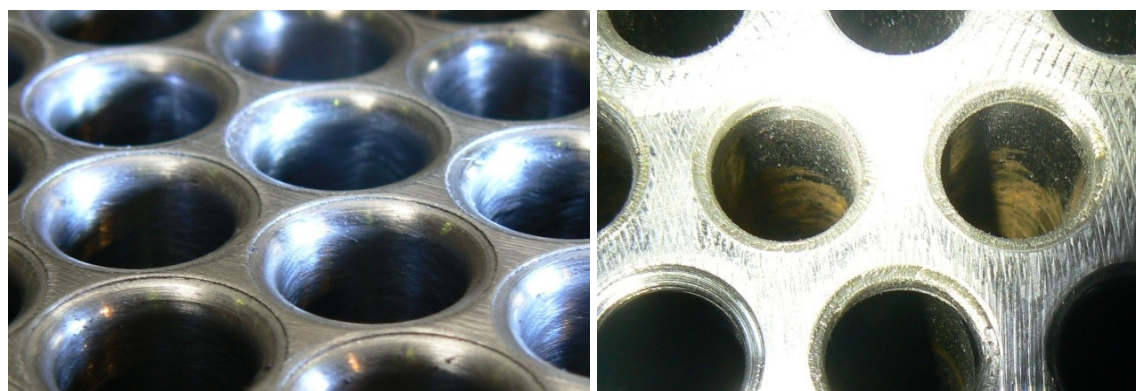
Nejčastější vadou vyskytující se u vyrobených otvorů byly rýhy, které se nejpravděpodobněji tvořily díky nárůstkům vznikajících na řezné hraně nástroje. Je velmi obtížné u těchto těžkoobrobitelných ocelí vyladit řezné parametry tak, aby se blížily optimu a zároveň byla dodržena požadovaná kvalita obrobeného povrchu. Dalším provázaným činitelem bylo nevhodné tvoření třísky a její odvod, což mělo většinou za následek až zalomení nástroje. Velké množství rýh způsobily vždy vícepráce při odstraňování broušením vad s náklady na ruční opravu v řádech 100 000 Kč a s dobou oprav delší než samotné vrtání. Při nutnosti broušení se vždy jedná o nedodržení rozměrů otvorů, které má za následek mnohem vyšší pracnost při upevňování a utěsňování teplosměnných trubek.

Většina ze zmiňovaných vad vyžadují technické řešení, jako je např. speciální postupy při upevňování trubek, případně i nový pevnostní výpočet a úprava protikusů vnitřní vestavby (např. přepážek). Nejzávažnější odchylky od výrobní dokumentace musí být schváleny konečným zákazníkem, a to prodlužuje kompletaci konečného komponentu i o několik měsíců, zvedá náklady na výrobu v řádech sta tisíců korun. Dokonce došlo k výskytu, tak závažných vad, že se jeden celý díl trubkovnice zmetkoval. Rozsáhlý výskyt

vad a jejich následky ohrozily celý výrobní program VPE. Následující **obr. 5.9** a **5.10** znázorňují některé z popisovaných vad.



***Obr. 5.9** Radiální a axiální rýhy*



***Obr. 5.10** Špatné zahloubení a koroze*

### Přesnost a kvalita

Dobrá přesnost a kvalita odvrtaných hlubokých otvorů v trubkovnicích eliminuje nutnost následujících časově i ekonomicky náročných ručních zámečnických prací při opravách, urychluje proces kontrolních operací a zajišťuje kvalitu spojů teplosměnných trubek v rámci jejich přivařování, při hydraulické expanzi a zejména při mechanickém zaválcování. (ať je to omezení počtu hydraulických sond, nebo eliminace speciálních technologických kroků při zaválcování u otvorů s vadami.)



### 5.3 Kontroly a měření

Jedná se soubor kontrolních operací, které jsou nutnou součástí systému jakosti výroby VPE. V případě trubkovnic se tyto kontrolní operace dají rozdělit do dvou skupin a to na měření v průběhu výroby a závěrečnou přejímku.

#### Měření v průběhu výroby na pracovišti vyvrtávacího stroje [12]

Pro zajištění kvality opracovaných hlubokých otvorů v trubkovnicích je osádka daného stroje určeného k této výrobě povinná, podle pracovního a kontrolního postupu provádět stoprocentní kontrolu všech vyráběných otvorů. Tuto kontrolu má pracovník provést vždy po výměně nástroje a následně cca po každých deseti odvrtaných otvorech. Výsledky těchto kontrol musí být vedeny v záznamu pomocné dokumentace s uvedením:

- Identifikace otvoru uvedením „čísla řádku N“ z NC programu
- Naměřený skutečný průměr otvoru
- Údaj o vyhovující drsnosti, rozteči, kolmosti a rovnoběžnosti otvoru
- Údaj o správné koncentraci procesní kapaliny
- Datum, čas a parafru pracovníka

Nedílnou součástí je současně probíhající vizuální kontrola, která není uvedena ve výčtu údajů z kontrol.

#### Závěrečná přejímka

Tato přejímka je konečnou kontrolou prováděnou přejímačem po dokončení obráběcích operací. Odvíjí se ze záznamu o měření v průběhu výroby, kdy při dobrých výsledcích se zpravidla provede pouze namátková kontrola otvorů. Když tato kontrola objeví vadu je nutno posléze provést stoprocentní kontrolu v plném rozsahu všech otvorů a zjištěné vady zaznamenat do protokolu nesouhlasnosti, kdy následuje proces řešení oprav s odsouhlasením konečného zákazníka.

Na další straně jsou zobrazená na **obr. 5.11 – 5.13** některá měřidla z kontrol při výrobě otvorů v trubkovnicích.

Boroskop s ohebnou sondou zakončenou kamerou umožňuje snadnější vizuální kontrolu. Sonda se vsune do otvoru a snímaný pohled kamerou se ihned zobrazuje na displeji boroskopu.



*Obr. 5.11 Boroskop s ohebnou sondou zakončenou kamerou*

Digitální třídotykový dutinoměr slouží k měření průměrů otvorů s přesností 0,001 mm.



*Obr. 5.12 Třídotykový dutinoměr Mitutoyo*

Refraktometr slouží ke kontrole koncentrace procesní kapaliny.



*Obr. 5.13 Ruční refraktometr*

## 6 Návrh modernizace stávajících zařízení

V této části práce se budu zabývat dovybavením starších pracovišť horizontálních vyvrtávacích strojů o potřebná zařízení a výbavu k tomu, aby bylo možné na nich zavést výrobu trubkovnic. Dále zde bude uvedeno testování a volba nástrojů, hospodářství procesních kapalin, pracovní prostředí a na závěr kapitoly uvedu návrh nového moderního pracoviště určeného pro výrobu zmiňovaného sortimentu VPE.

### 6.1 Dovybavení strojního zařízení

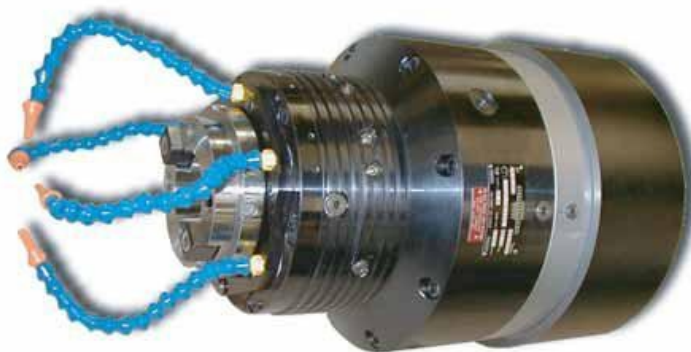
#### Zrychlovací hlava

Jako první návrh pro dovybavení řešených pracovišť je zrychlovací hlava, která je nezbytnou součástí, zejména starších strojů pro možnost využití novodobých řezných nástrojů. Důvodem jsou požadované vyšší otáčky vřetene, než bývá u těchto strojů obvyklé.

Zrychlovací hlava Pibomulti Fx300 – 04 je znázorněna na **obr. 6.1** a její parametry jsou uvedeny v následující **tab. 6.1**

**Tab. 6.1** Parametry zrychlovací hlavy FX 300 – 04

Převod otáček	1 : 4
Maximální výstupní otáčky	8 000 1/min
Maximální přenášený výkon	20 kW, 400 N.m
Výstupní vřeteno	ISO 50 DIN2080



**Obr. 6.1** Zrychlovací hlava Pibomulti Fx300 - 04



Monitorovací zařízení

Dovybavení modulárním systémem Promos 2, který slouží k monitorování signálů ze snímačů vhodně umístěných na obráběcím stroji. Zmíněné signály slouží k identifikaci obráběcích procesů a jejich kontrole. [13]

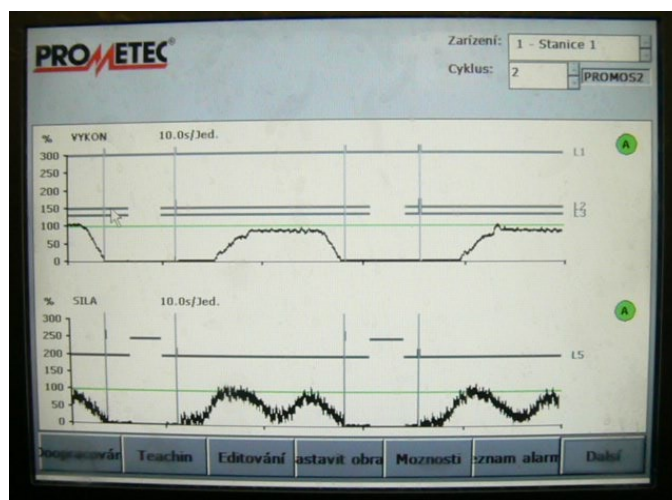
Monitorovací systém hlídá kolize, přetížení stroje, lom, opotřebení, nebo chybějící nástroj a jeho kontakt s obrobkem. Při odpovídající výbavě se dá využít pro odměřování např. pro ustavení výrobku apod. [13]

Systém rozpozná okamžik, kdy dojde ke kontaktu nástroje s obrobkem, umožňuje přesnější přepínání posuvových rychlostí, čímž dochází ke zkrácení celkového výrobního taktu. [13]

Vizuální zobrazování signálů napomáhá zlepšit přehled o průběhu obráběcího procesu popř. i možnost adaptabilního řízení. Tímto se dá spolehlivě přiblížit k optimálním podmínkám řezu. [13]

Pro tento modulární systém se využívají jednotlivě, nebo kombinovaně snímače sil, výkonů, krouticího momentu, posuvů, vibrací, zvuku a tlaku. Pro technologii řešenou v této práci je vhodné využití třech silových snímačů umístěných v obvodové části uložení vřetene. Snímače umožní zaznamenat rozkmit rotujícího nástroje, způsobený jeho nepřesností, opotřebením, únavou, nebo nevhodným upnutím. [13]

Tyto možnosti monitorovacího systému považuji za nezbytnou součást navržené technologie, nejen pro zmiňované výhody, ale především pro minimalizaci poškození soustavy SNOP v případě nečekané kolize. Na **obr. 6.2** je monitor systému Promos 2.



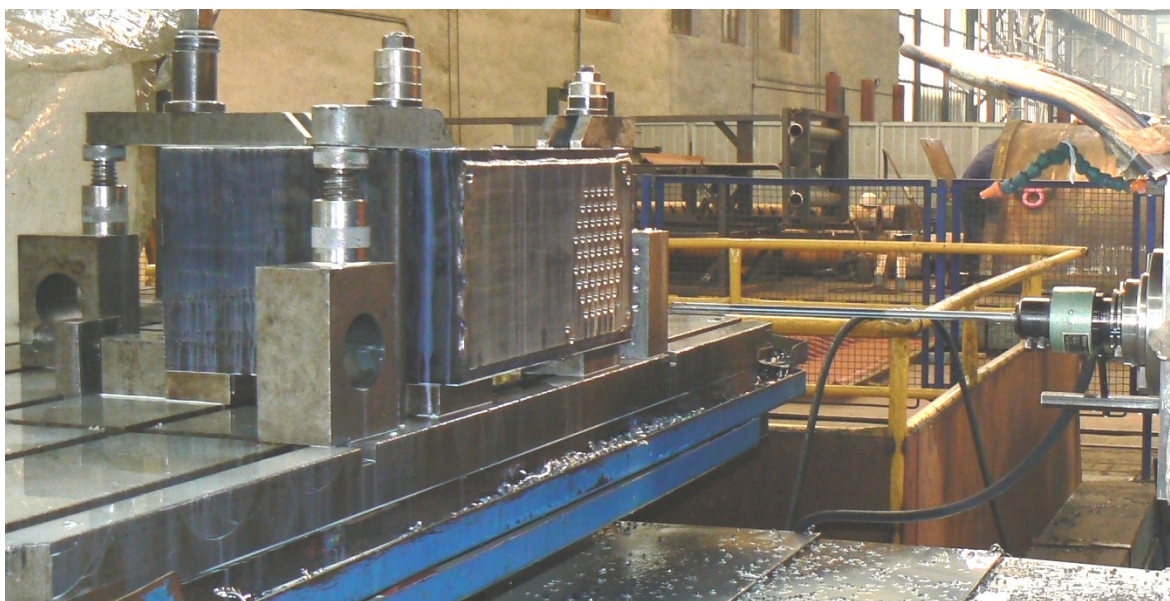
**Obr. 6.2** Monitor systému Promos 2

## 6.2 Výběr vhodných nástrojů

Výběr vhodných nástrojů pro vrtání hlubokých otvorů v trubkovnicích byl podroben důkladným zkouškám na speciálně vyrobených zkušebních vzorcích z odpovídajících materiálů (stejně tavby) a tloušťek, tak aby prostředí a všechny vstupující technologické vlastnosti byly shodné s tím, jak by měla probíhat výroba drahých trubkovnic. Na **obr. 6.3** je znázorněn testovací vzorek.

Hlavní důvody pro provedení těchto testů byly následující:

- Jedná se o velké množství vyráběných otvorů v řádech desetitisíců ve speciálních těžce obrobitelných materiálech s velkou houževnatostí, u kterých dochází při obrábění k obtížnému lámání třísky.
- Výroba má probíhat na starších strojích, kde se může projevit snížená přesnost polohování, vůle ve vřetenech a menší tuhost soustavy.

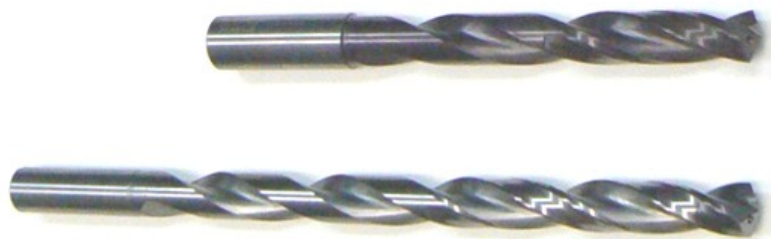


*Obr. 6.3 Testovací vzorek*

Cílem těchto zkoušek bylo vybrat velmi spolehlivý nástroj, který by byl schopen vrtat tyto otvory v požadované přesnosti a kvalitě. Odladění jeho vhodných řezných parametrů, koncentrace a tlaku používané emulze. V neposlední řadě byla zároveň posuzována spolehlivost různých tlakových těsnících kroužků, které slouží k zajištění potřebného tlaku procesní kapaliny pro tyto nástroje s vnitřním chlazením. Na další straně jsou uvedeny testované nástroje s jejich popisem a dosaženými výsledky.

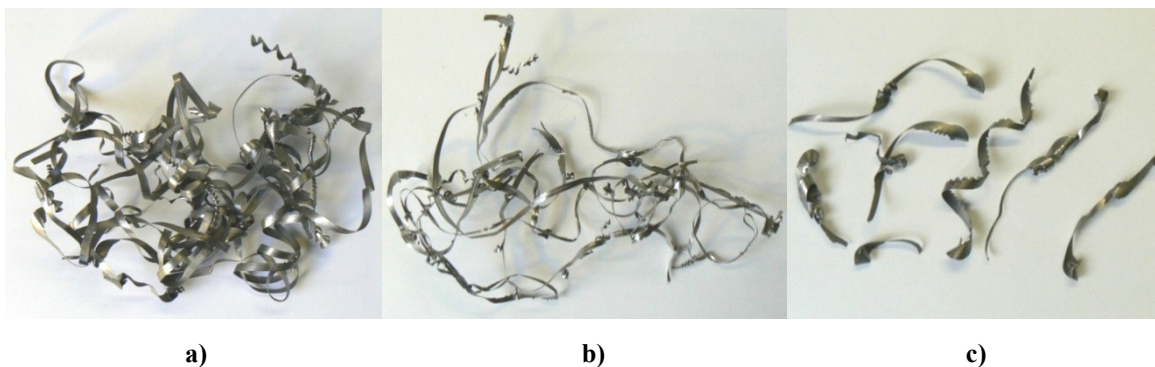
Monolitní vrtáky

Jedná se o nástroje ze SK od firmy Hartner. Tento vysoce výkonný vrták je určený pro hluboké vrtání obrobků z ocelí, litin a taky neuhlíkových materiálů. Používá se pro hloubky nad  $12 \times D$  až do  $40 \times D$ . Vyžaduje precizní souosost nástrojového upnutí s max. odchylkou do 0,02 mm. Má vrcholový úhel  $140^\circ$  a je vyroben v toleranci m7. [14]



*Obr. 6.4 Monolitní vrtáky od firmy Hartner*

Monolitní vrták vytvářel při různých řezných parametrech následující třísky viz obr. 6.5.



*Obr. 6.5 Třísky vytvořené monolitním vrtákem*

třísky **obr. 6.5a:**

- otáčky  $n = 1350 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,150 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry způsobovaly špatné lámání třísky.

třísky **obr. 6.5b:**

- otáčky  $n = 1500 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,120 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry způsobovaly špatné lámání třísky.

třísky **obr. 6.5c:**

- otáčky  $n = 1350 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,200 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry byly zvoleny jako vyhovující pro spolehlivost vrtání

Dosažené parametry vyrobených otvorů monolitním vrtákem jsou:  $R_a$  až  $12,5 \mu\text{m}$  a tolerance průměru  $+ 0,3 \text{ mm}$ .

Při testech se vyskytl únavový lom nástroje v oblasti upínací části, jak je znázorněno na **obr. 6.6**. Pravděpodobným důvodem byla nedostatečná tuhost soustavy SNOP.



**Obr. 6.6** Lom monolitního vrtáku

Pro svou vysokou výkonnost, jakost opracování a rozměrovou přesnost se tento vrták osvědčil v krátkém provedení jako nástroj pro pilotní otvory.

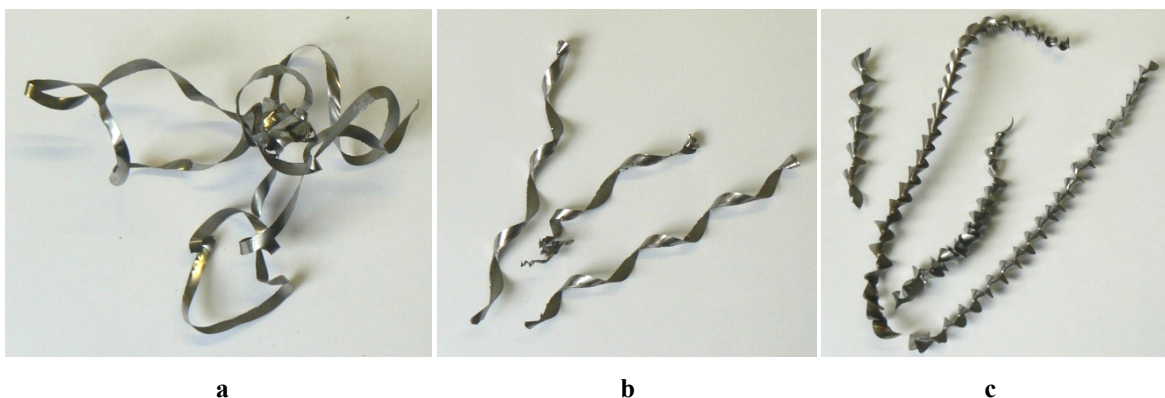
Jako nástroj na výrobu vodících (pilotních) otvorů pro dělové vrtáky byl vybrán šroubovitý monolitní vrták ze SK od firmy Hartner, který se již dříve osvědčil při vrtání otvorů v přepážkách. Tento nástroj má v sobě otvory pro vnitřní chlazení a disponuje na zakázku speciálně upravenou řeznou geometrií pro těžkoobrobitelné oceli jako je 22K. Pilotní vrták je na **obr. 6.7**.



**Obr. 6.7** Pilotní vrták



Pilotní vrták vytvářel při různých řezných parametrech následující třísky viz **obr. 6.8**.



**Obr. 6.8** Třísky vytvořené pilotním vrtákem

třísky **obr. 6.8a**:

- otáčky  $n = 1200 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,120 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry způsobovaly špatné lámání třísky.

třísky **obr. 6.8b**:

- otáčky  $n = 1400 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,120 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry způsobovaly špatné lámání třísky.

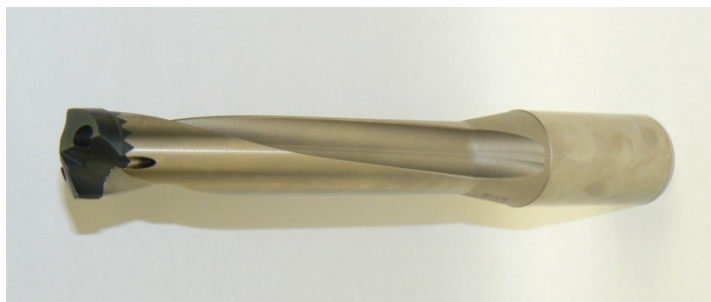
třísky **obr. 6.8c**:

- otáčky  $n = 1500 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,120 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry byly zvoleny jako vyhovující pro spolehlivost a jakost pilotních otvorů

Vodící (pilotní) otvory vyrobené tímto nástrojem za použití posledních řezných parametrů mají skutečný průměr  $16,32 \pm 0,01 \text{ mm}$  drsnost povrchu  $Ra 0,8 \mu\text{m}$ .

Vrtáky s vyměnitelnou hlaví

Dalším zkoušeným nástrojem byl korunkový vrták s vyměnitelnou hlaví od firmy Sumitomo. Vyměnitelná hlavice je vyrobená z karbidu wolframu a je možno jí přestřovat na hřbetu řezné části do hloubky 3 mm. Tento nástroj se používá pro hloubky vrtání až do  $8 \times D$ . Na **obr. 6.9** je korunkový vrták. [14]



**Obr. 6.9** Korunkový vrták

Vrták by se využíval na vrtání trubkovnic pro NTO, nebo pro výrobu vodičích otvorů. Při testech se projevila špatná spolehlivost kvůli častému lomu korunek.

Kopínaté vrtáky

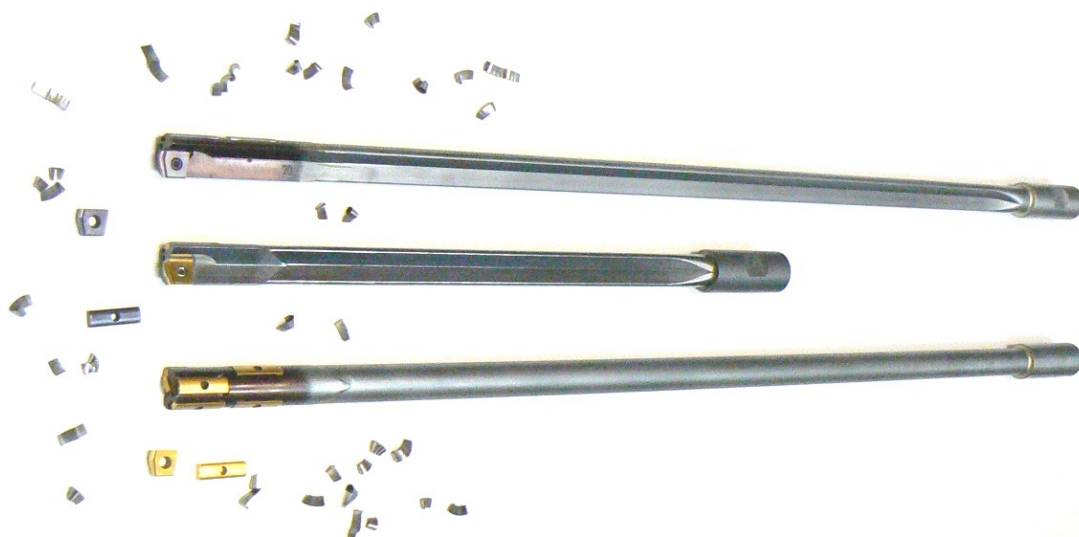
Kompletně nově vyvinutý MULTIPLEX HPC systém od firmy Hartner se zvýšenou životností nástroje a optimalizovaným odvodem třísek pro všechny materiály. Nástroje disponují novými lůžky pro VBD s vysokou přesností a tuhostí, což umožňuje více frekventovanou výměnu destiček. Široké šroubovitě drážky a zpětně se vracející procesní kapalina, která je přiváděna středem nástroje, zabezpečují odvod třísek. Je zde jednoduchá výměna VBD pomocí upínacího šroubu. Vrtáky se používají pro hloubky vrtání až  $12 \times D$ . Nástroje jsou určeny výhradně pro vrtání do plného materiálu. Na **obr. 6.10** jsou kopínaté vrtáky. [15]



**Obr. 6.10** Testovací vzorek

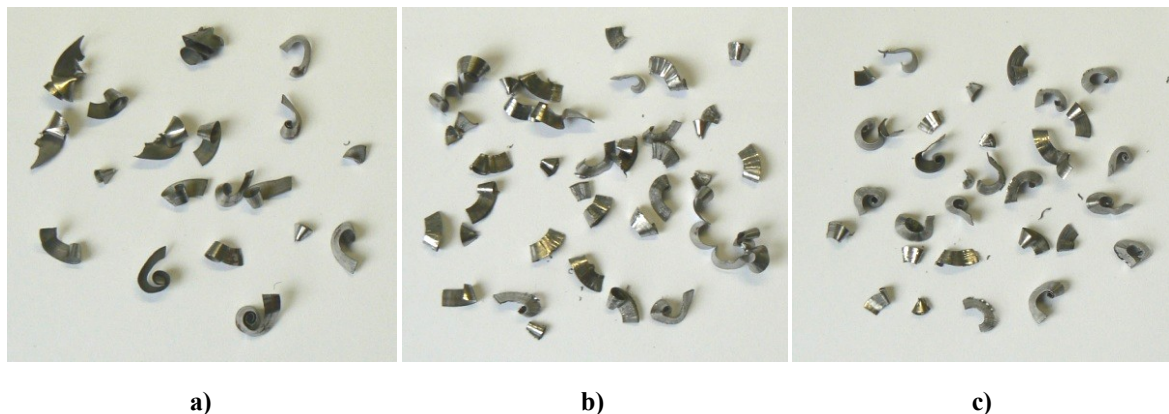
## Dělové vrtáky

Popis dělových vrtáků je obdobný jako v kapitole 5.1, pro testy byly použity nástroje od firem Botek a Hartner s největší délkou pro vrtání otvoru až 600 mm. Na obr. 6.3 jsou testované dělové vrtáky.



*Obr. 6.11 Dělové vrtáky*

Dělový vrták vytvářel při různých řezných parametrech následující třísky viz **obr. 6.12.**



**Obr. 6.12** Trísy vytvořené dělovým vrtákem

třísky **obr. 6.12a:**

- otáčky  $n = 1750 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,126 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry způsobovaly špatný povrch i tvar třísek.

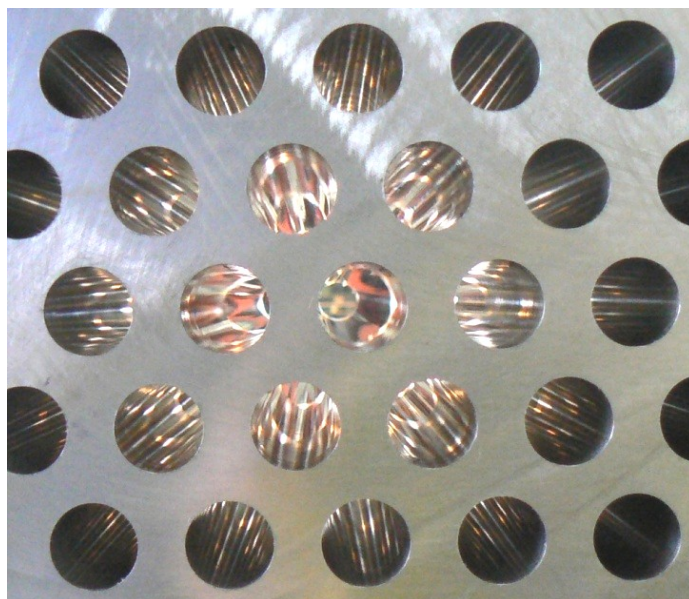
třísky **obr. 6.12b:**

- otáčky  $n = 1500 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,090 \text{ mm}$ ,
- při těchto parametrech docházelo ke vzniku nárůstků na řezné hraně nástroje.

třísky **obr. 6.12c:**

- otáčky  $n = 1750 \text{ ot.min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku  $f = 0,105 \text{ mm}$ ,
- tyto řezné parametry byly zvoleny jako vyhovující

Konečné řezné parametry pro tento dělový vrták, u kterých se tvořily dobré třísky (**obr. 6.12c**) a rozměry vyrobených otvorů byly  $16,32 \pm 0,01 \text{ mm}$  s drsností povrchu pod  $Ra 0,8 \text{ } \mu\text{m}$ . Tato kombinace nižších řezných parametrů a výměna VBD po každých 6 m odvrtaných otvorů vykazovala dobrou spolehlivost nástroje a bezpečné dodržení všech parametrů. Jedná se o kompromis dosažené kvality povrchu vyrobených otvorů, životnosti nástroje a řezných parametrů.



*Obr. 6.13 Kovově lesklý povrch otvorů v odvrtané trubkovnici pro VTO*



První trubkovnice pro VTO odvrtná s odladěnými řeznými parametry odpovídala požadavkům technické dokumentace a vyrobené otvory měly impozantní kovově lesklý povrch, jak je vidět na **obr. 6.13**.

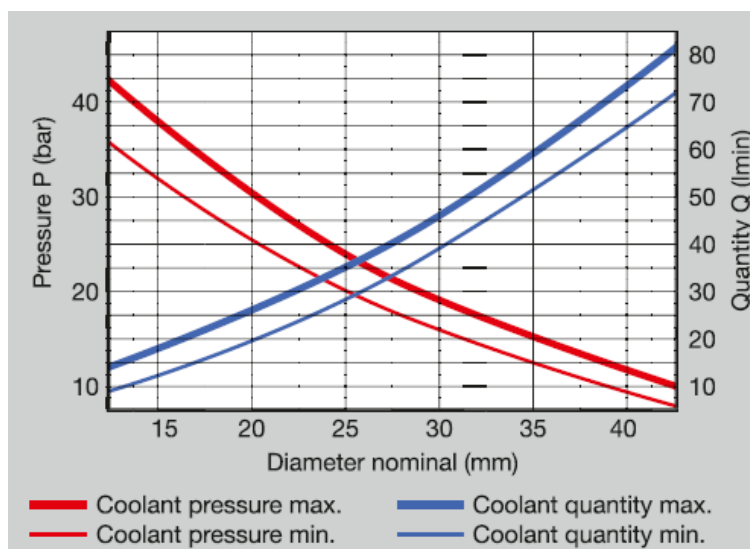
### 6.3 Hospodářství procesních kapalin

Procesní kapalina zaujímá důležitou část navržené technologie určenou převážně pro výrobu hlubokých otvorů. Její význam spočívá v následujících požadovaných funkcích:

- Plní funkci mazání a chlazení, čímž prodlužuje trvanlivost vodících a opěrných lišt i břitu nástroje
- Zvyšuje odolnost proti opotřebení řezné hrany nástroje
- Odvádí třísky
- Působí vhodně na utváření třísky zvláště u určitých obráběných materiálů
- Eliminuje vznik nárustků

Dalším důležitým požadavkem je to, že při využívání vysokého tlaku nesmí docházet k jejímu zpěnění.

Na **obr. 6.14** je graf určující potřebný tlak (červené čáry) a průtok (modré čáry) procesní kapaliny pro určitý průměr dělového vrtáku od firmy Hartner.



**Obr. 6.14** Požadovaný tlak a průtok pro vybrané dělové vrtáky [15]

Výhledem by mělo být vysokotlaké obrábění (HPM - High Pressure Machining), které se řadí mezi nejnovější technologie pro obrábění především speciálních a slitinových ocelí. Vyznačuje se používaným tlakem procesní kapaliny nad 15 MPa. [16]

#### Výhody HPM:

- Zvýšení produktivity
- Redukce teploty v místě řezu
- Eliminace tvorby nárustků
- Lepší utváření a lámání třísky

Současné možnosti přenosu procesní kapaliny na stávajících pracovištích jsou do 5 MPa, především kvůli tlakovým těsnícím kroužkům pro rotační nástroje.

#### Procesní kapalina od firmy Bechem

Obráběcí emulze využívaná taky jako aditivum, v průmyslu plní účel mazání a chlazení při obtížných až nejnáročnějších operacích třískového obrábění např. při protahování, hlubokém vrtání, opracování trub a broušení. Může sloužit jako přísada k vylepšení řezného a mazacího výkonu provozovaných emulzí.

Je zdraví škodlivá při vdechování a požití. Nepředpokládá se, že může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky na životní prostředí. Nemá samozápalnou ani výbušnou. Chemické složení procesní kapaliny je uvedeno v **tab. 6.2**. [17]

**Tab. 6.2** Chemické složení procesní kapaliny [17]

Chemický název látky	Koncentrace [%]
Trichlormethylpenten sulfonovaný	10 - 25
Ethandiyl-bis(oxy) – bis(methanol)	<2,5
Kyselina boritá	<5,5
2 – Fenoxýethan – 1 - ol	2,5 - 5
C16-18 a C18-nenasyc., ethoxylované alkoholy	5 - 10

Pracovní bezpečnost při práci s touto látkou [17]:

- Ochrana dýchacích cest: není potřeba, pokud je pracoviště dobře odvětráno.
- Ochrana rukou: pomocí rukavic odolných proti produktu
- Ochrana očí: doporučuje se používat ochranných brýlí
- Ochrana kůže: používáním ochranného oděvu

Při vrtání trubkovnic bylo využito této emulze se speciálními přísadami pro vylepšení vlastností výsledného hlubokovrtacího procesu.

#### Vysokotlaký agregát ChipBlaster JV40

Slouží pro přípravu a cirkulaci procesní kapaliny v procesu obrábění, hlavní parametry zařízení jsou uvedeny v následující **tab. 6.3**.

*Tab. 6.3 Parametry agregátu ChipBlaster JV40 [18]*

Maximální tlak	10 MPa
Minimální tlak	2 MPa
Průtok	40 l/min
Objem nádrže	380 l



*Obr. 6.15 Vysokotlaký agregát pro přípravu procesní kapaliny*

zařízení dále disponuje [18]:

- automatickým přepínáním filtrů, pro možnost výměny filtru za provozu
- 4 přednastavenými tlaky pro různé operace, vyvolávané M-funkcí obráběcího stroje
- automatickou regulací koncentrace procesní kapaliny s hlídáním nastavené hodnoty v rozmezí  $\pm 1$  %
- vynášečem kalu
- magnetickým separátorem
- nízkotlakým oplachem hadic

#### Tlakové těsnící kroužky pro rotační nástroje

Z potřeby zajištění požadovaného tlaku procesní kapaliny přiváděné do středu rotačního nástroje bude navržená technologie využívat tlakový těsnící kroužek. Toto východisko je zvoleno z důvodu, že jen jediný nejnovější stroj WRD 150 má osový přívod procesní kapaliny ve vřetenu s maximálním pracovním tlakem 1 MPa a je určen pro koncentraci kapaliny do 6% a zbylé vyvrtávačky nedisponují osovým přívodem vůbec. Ani parametry WRD 150 nevyhovují požadavkům na tlak procesního média pro novodobé nástroje určené k hlubokému vrtání.

Tlakový těsnící kroužek je i tak nejslabším článkem celého tlakového systému řešené technologie. Klasická pryžová těsnění uvnitř kroužku dokážou spolehlivě pracovat pouze do tlaku 2 MPa. Novější tlakové kroužky využívající labyrintových ucpávek, jsou schopny pracovat maximálně do cca 5 MPa. Výhledem jsou vyvíjené tlakové kroužky využívající keramické třecí plochy, které by měly zvládnout ještě vyšší pracovní tlak, avšak v průběhu této práce nebudou odzkoušeny z důvodu dostupnosti.

Životnost tlakových těsnících kroužků pro rotační nástroje značně ovlivňuje čistota, koncentrace a teplota procesní kapaliny. Na **obr. 6.16** je již odzkoušený tlakový kroužek, který spolehlivě pracuje do tlaku 5 MPa.



*Obr. 6.16 Tlakový těsnící kroužek pro přívod procesní kapaliny do středu nástroje*

## 6.4 Pracovní prostředí

Pracovní prostředí, ve kterém probíhají výrobní procesy trubkovnic a dalších výrobků, má významný vliv na celkový průběh výroby, především na kvalitu a rozměrovou přesnost. Jedná se hlavně o teplotu pod 10 °C, se kterou byly zjištěny problémy v průběhu zimního období. Při této teplotě přestává plnit funkci procesní kapalina, a to způsobuje zejména nedodržení rozměrových tolerancí, drsnosti povrchů a zkrácení životnosti nástrojů. Ve stávající nezateplené hale se v extrémním případě naměřila teplota na pracovišti vodorovné vyvrtávačky cca – 3 °C. Řešení tohoto problému bylo navrženo firmou Ecos Choceň, a to doplňkovou temperací.

Tento zdroj temperace využívá komplexní infratechnologie určené k doplňkové temperaci teplovzdušného vytápění zmiňovaného pracoviště. Je určen pro ohřev hmoty obrobku o hmotnosti cca 28 tun na technologickou teplotu min. 10 °C. Dále na části olejového a vodního hospodářství stroje, při nejnižší teplotě uvnitř haly – 3 °C, která se může vyskytnout za venkovních teplot pohybujících se od - 18 až do – 25 °C. [19]

Temperační systém snímá teploty prostorovými termostaty s návazností na vnitřní teplotu haly. Regulace teplot probíhá automaticky dle přednastavených požadovaných teplot nebo pomocí ručního ovládání na řídicím rozváděči. Na **obr. 6.17** je zobrazena temperace pracoviště horizontální vyvrtávačky.



**Obr. 6.17** Temperace pracoviště

Součásti temperačního zařízení:

- Průmyslové infrazářiče (32 ks, typu 60 IN/A, rozptyl 45 – 60°)
- Hlavní jistící a řídicí rozváděč RIF
- Automatická regulace příkonů infrazářičů prostorovými termostaty

Max. příkon celkového zařízení je 192 kW, který je rozložen mezi 32 infrazářičů, které jednotlivě pracují s regulovaným příkonem od 1 do 6 kW. Infrazářiče jsou upevněny na odmontovatelných stojanech pro snadné přemístění, nebo aby se mohly v době letních měsíců, kdy není potřeba hlídat teplotu prostředí, bezpečně uschovat do skladu. [19]



## **6.5 Návrh investice do nového pracoviště**

K zajištění lepšího průběhu výroby komponentů pro energetiku ve VPE je neefektivní se dále zabývat doplňováním a modernizací zastaralých strojů. Investice do pořízení nového moderního pracoviště za přibližně 30 mil Kč zvýší podstatně produktivitu a rozšíří výrobní možnosti, umožní provádět veškeré obráběcí operace jako zmiňované horizontální vyvrtávačky, včetně hlubokého vrtání trubkovnic a kolektorů.

Důležité vlastnosti a zařízení, kterými disponují moderní universální obráběcí stroje kvůli svým novým konstrukcím, jsou jejich vyšší posuvové rychlosti dosahující až  $40\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , zrychlení  $0 - 1\,000\text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$ , rozsahem otáček  $0 - 6\,000\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ , automatickým měničem nástrojů a hlav. [20]

Programově řízené polohovací úhlové hlavy umožňují obrábění s různým natáčením nástrojů v prostoru s krokem natáčení  $0,02^\circ$ . Hlava se obvykle skládá ze dvou částí, předního a zadního kloubu, které vzájemně svírají úhel  $90^\circ$ . Tento systém umožňuje nastavení až  $324\,000\,000$  poloh v prostoru. Práce s touto hlavou usnadňuje polohování obrobků, tím že moderní stroj dokáže nasnímat aktuální polohu obráběného dílu a na základě toho upravit polohu obráběcího nástroje pro proces obrábění. [20]

Další výhody jsou implementace monitorovací zařízení s adaptivním řízením posuvů, výbavou kompletního chladicího systému s přívodem vnitřním s tlakem  $1,7\text{ MPa}$ , nebo s přívodem venkovním za pomoci tlakového kroužku s tlakem až  $7\text{ MPa}$ . Pro práci v blízkosti obrobku slouží bezdrátový ovladač s ručním kolečkem. [20]

## 7 Technicko-ekonomické vyhodnocení

Tato část práce se zabývá technicko-ekonomickým vyhodnocením technologie pro opracování trubkovnic. Obsahuje porovnání nákladů na výrobu trubkovnic v externích společnostech s náklady na výrobu ve společnosti VPE.

Technologie byla ověřena opracováním několika trubkovnic na pracovištích WRD 150 a W 160 GNR. Tímto se rozšířila výroba společnosti o tyto důležité díly pro jadernou energetiku. Vyráběné hluboké otvory mají průměr 16,32 mm s tolerancí  $\pm 0,01$  mm, drsnost povrchu pod Ra 0,8 mm a odpovídají všem požadavkům technické dokumentace. Použití nižších řezných parametrů prodlužuje sice výrobu, avšak zajišťuje vysokou kvalitu odvrtných otvorů a hlavně spolehlivost výrobního procesu. Dobrá kvalita otvorů v trubkovnicích také výrazně zlepšuje následovné utěšňování teplosměnných trubek. Dále následuje ekonomické vyhodnocení práce.

### Ceny výroby hlubokých otvorů v trubkovnicích mimo VPE

**Tab. 7.1** Ceny opracování trubkovnic mimo VPE

Trubkovnice pro	Cena výroby	Cena přejímky, oprav a dopravy	Celková cena
VTO	85 000 €	15 000 €	100 000 € (2 500 000 Kč)
NTO s vnějším průměrem 3 200 mm	50 000 €	7 000 €	57 000 € (1 425 000 Kč)
NTO s vnějším průměrem 1 200 mm	13 000 €	3 000 €	16 000 € (400 000 Kč)

Investice na dovybavení dvou pracovišť pro hluboké vrtání ve VPE

Tab. 7.2 Investice do strojního zařízení

Zařízení	Cena [Kč]
Zrychlovací hlava Pibomulti (pro dva stroje)	2 x 750 000
Vysokotlaký agregát pro přípravu procesní kapaliny Chipblaster včetně tlakového těsnícího kroužku. (pro dva stroje)	2 x 450 000
Monitorovací zařízení Prometec (pro dva stroje)	2 x 250 000
Zdroj teploty pracoviště	1 100 000
Součet investic	4 000 000

Náklady na prvotní vybavení a testování dvou pracovišť nástroji měřidly pro hluboké vrtání činí 1 000 000 Kč.

Ceny výroby hlubokých otvorů v trubkovnicích ve společnosti VPE

Režijní náklady  $N$  pro opracování trubkovnice jsou tvořeny součinem doby výroby  $T_v$  a režijní sazby vyvrtávacího stroje  $RS_w$ . Další výdaje spojené s nástroji, procesní kapalinou jsou zahrnuty do režijní sazby vyvrtávacího stroje. Výpočet je proveden pro tři typy vyráběných trubkovnic určených pro VTO (VTO), NTO s vnějším průměrem 3 200 mm (NTO3) a NTO s vnějším průměrem 1 200 mm (NTO1).

Výpočet režijních nákladů výroby jedné trubkovnice pro VTO:

$$\begin{aligned}N_{VTO} &= T_{VTO} \cdot RS_w \\N_{VTO} &= 1\,100 \cdot 1\,500 \\N_{VTO} &= 1\,650\,000 \text{ Kč}\end{aligned}$$

Výpočet režijních nákladů výroby jedné trubkovnice pro NTO3:

$$N_{NTO3} = T_{VNTO3} \cdot RS_W$$

$$N_{NTO3} = 600 \cdot 1\,500$$

$$N_{NTO3} = 900\,000 \text{ Kč}$$

Výpočet režijních nákladů výroby jedné trubkovnice pro NTO1:

$$N_{NTO1} = T_{VNTO1} \cdot RS_W$$

$$N_{NTO1} = 260 \cdot 1\,500$$

$$N_{NTO1} = 390\,000 \text{ Kč}$$

Úspora za výrobu jedné trubkovnice ve VPE  $N_{US}$  získáme z rozdílu mezi cenou výroby určité trubkovnice v externí společnosti  $N_E$  a nákladů na výrobu dané trubkovnice ve VPE  $N_V$ .

Výpočet úspory na jedné trubkovnici VTO

$$N_{USVTO} = N_{EVTO} - N_{VVTO}$$

$$N_{USVTO} = 2\,500\,000 - 1\,650\,000$$

$$N_{USVTO} = 850\,000 \text{ Kč}$$

Výpočet úspory na jedné trubkovnici NTO3

$$N_{USNTO3} = N_{ENTO3} - N_{VNTO3}$$

$$N_{USNTO3} = 1\,425\,000 - 900\,000$$

$$N_{USNTO3} = 525\,000 \text{ Kč}$$

Výpočet úspory na jedné trubkovnici NTO1

$$N_{USNTO1} = N_{ENTO1} - N_{VNTO1}$$

$$N_{USNTO1} = 400\,000 - 390\,000$$

$$N_{USNTO1} = 10\,000 \text{ Kč}$$

Celkovou úsporu za rok tvoří součet jednotlivých úspor na každém typu trubkovnice vynásobený počtem vyrobených kusů za rok  $i$ .

$$\begin{aligned}N_V &= i_{VTO} \cdot N_{USVTO} + i_{NTO3} \cdot N_{USNTO3} + i_{NTO1} \cdot N_{USNTO1} \\N_V &= 2 \cdot 850\,000 + 4 \cdot 525\,000 + 10 \cdot 10\,000 \\N_V &= 3\,900\,000 \text{ Kč}\end{aligned}$$

Při předpokládané roční výrobě 7 200 NH, kdy by se měly vyrobít trubkovnice pro 2 x VTO, 4 x NTO3 a 10 x NTO1 na jednom stroji vznikne rozdíl nákladů kooperace oproti vlastní výrobě 3 900 000 Kč. Při provozu dvou strojů činí dvojnásobná úspora 7 800 000 Kč.

Náklady vybavení dvou pracovišť  $N_V$  jsou tvořeny součtem investic a jednorázových nákladů a činí 5 000 000 Kč.

Doba návratnosti  $TN_P$  je tvořena podílem nákladů na vybavení dvou pracovišť  $N_V$  a úspory provozu dvou strojů při předpokládané roční výrobě  $N_{UR}$ .

Doba návratnosti:

$$\begin{aligned}TN_P &= \frac{N_V}{N_{UR}} \\TN_P &= \frac{5\,000\,000}{7\,800\,000} \\TN_P &= 0,641 \text{ Roku}\end{aligned}$$

Návratnost nákladů na vybavení dvou pracovišť v hodnotě 5 000 000 Kč je tím zaplacená již v prvním roce provozu.

## **Závěr**

Cílem této práce bylo navrhnout technologii pro výrobu hlubokých otvorů v trubkovnicích, které se vyrábí pro teplosměnné trubky v nízkotlakém, nebo vysokotlakém ohřívači, určeném pro jaderné elektrárny. Hlavním úkolem bylo využít pro tento účel stávající strojní pracoviště horizontálních vyvrtávaček.

V první části této práce je popsána společnost VPE, certifikace s kterými disponuje a kritéria výroby komponentů pro jadernou energetiku. Dále následuje charakteristika výrobního sortimentu společnosti, který je běžně opracováván na zmiňovaných pracovištích a popis trubkovnice, která je předmětem této práce. Navazující kapitola popisuje horizontální vyvrtávačky využitelné pro tento účel.

Kapitola č. 4 charakterizuje technologii vrtání hlubokých otvorů včetně metod a nástrojů, které se běžně používají. Tato kapitola dále obsahuje vyskytující se vady při výrobě těchto otvorů v trubkovnicích, kontroly a měření včetně řešení oprav.

Praktická část se zabývá především dovybavením stávajícího strojního zařízení o potřebné prostředky, které řešená technologie vrtání vyžaduje, dále výběrem a testováním vhodných nástrojů s laděním řezných parametrů. Je zde také hospodářství procesní kapaliny a její parametry, které mají významný vliv na proces vrtání, problémy s teplotou pracovního prostředí a jeho řešení pomocí soustavy infrazářičů tvořící zdroj teploty. Kapitola končí návrhem investice do nového moderního pracoviště, které by mělo rozšířit výrobní možnosti a zvýšit produktivitu výroby VPE.

V poslední části práce je technickoekonomické vyhodnocení této technologie, ze kterého vyplývá, že hlavní cíl diplomové práce byl splněn. Společnost VPE rozšířila svou výrobu o důležité trubkovnice. Hluboké otvory v trubkovnicích se vyrábí s průměry  $16,32 \pm 0,01$  mm, drsností povrchu pod Ra 0,8  $\mu$ m a vyhovují všem požadavkům technické dokumentace. Dále z ekonomického vyhodnocení je zřejmé, že při roční produkci dvou trubkovnic pro VTO, čtyř trubkovnic pro NTO3 a deseti trubkovnic pro NTO1 na dvou pracovištích je úspora nákladů výroby v kooperaci oproti vlastní výrobě 7 800 000 Kč. Návrh na vybavení strojů pro tuto technologii se zaplatí již do prvního roku provozu.

Nyní jsou pro tuto technologii využívány dvě pracoviště WRD 150 a W 160 GNR. Další dva stroje zatím nemohou být využívány pro opracování trubkovnic z důvodů





souběhu jiné výroby, která vyžaduje klasické opracování. Na základě dobrých dosažených výsledků při opracování trubkovnic, bylo ve VPE rozhodnuto dovybavit touto technologií pracoviště W 200 HC v rámci generální opravy s modernizací, která se plánuje realizovat v tomto roce, a dále bylo zahájeno výběrové řízení na pořízení nového progresivního pracoviště podle návrhu v kapitole 6.5.



## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Mrkvicovi z VŠB – TU v Ostravě-Porubě a Ing. Červenkovi z podniku Vítkovice Power Engineering a.s. za cenné připomínky, odbornou pomoc a konzultace při řešení tohoto úkolu.

## Seznam použité literatury

- [1] Propagační materiály firmy VÍTKOVICE
- [2] Citace z prezentace: Tisovský J. *Technicko-právní předpisy a normy pro výrobu zařízení JE v RF a SR*. Kurs pravidel, norem a instrukcí ke způsobilosti při organizaci práce ve výrobě zařízení jaderné energetiky, 2011
- [3] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Specifikace materiálu na dodávku trubkového svazku pro rekonstrukci nízkotlakého přehříváku typu NTO 3000 pro atomové elektrárny typu VVER 1000*, 2010, 10 s. SM 1081/96
- [4] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Dokumentace stroje WET 200 NC*.
- [5] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Dokumentace stroje W 160 GNR*.
- [6] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Dokumentace stroje WRD 150*.
- [7] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Dokumentace stroje W 200 HC*
- [8] SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. Vyd. Praha: Sandvik CZ Praha, 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6
- [9] ČEP, R. *Technologie II – 2. Díl: Podklady ke studiu pro předmět Technologie obrábění*. 142 s. [cit. 3. 3. 2012] Dostupné na World Wide Web: <[http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf)>
- [10] KODYS, M. *Moderní metody technologie vrtání*. Bakalářská práce. Brno: VUT, 2008. 39 s.



- [11] BRYCHTA, J., ČEP R., SADÍLEK M., PETŘKOVSKÁ L. a NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progradivním obrábění* [online]. Ediční středisko VŠB – TUO: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007, 251 s. ISBN 978-80-1505-3.
- [12] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Pracovní a kontrolní postup – 5-795-1047-2. 3 s.*
- [13] PROMETEC, Bratislava, *Modulárny systém monitorovania procesu PROMOS 2 - Návod na obsluhu.*, 2005. 63 s.
- [14] Katalog, *Výkonné obráběcí nástroje: Souhrnný katalog.* SUMITOMO, 2010.
- [15] Katalog, *Precision drilling tools.* HARTNER, 2012.
- [16] ŤUPAN, P. *Vysokotlakové obrábění.* časopis Strojárstvo/Strojírénství. 2013. 2013. 2.
- [17] BECHEM, *Nabídka procesní kapaliny.* 2012.
- [18] CHIPBLASTER, *Nabídka agregátu Chipblaster JV40.* 2012.
- [19] ECOS CHOCEŇ, *Nabídka temperace pracoviště.* 2013.
- [20] TGS, *Nabídka nového pracoviště.* 2013.